

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 実用新案公報 (Y 2)

(11) 実用新案出願公告番号

実公平7-15280

(24) (44) 公告日 平成7年(1995)4月10日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 S 5/02		8421-5H		
G 1 0 K 15/12				
H 0 4 S 1/00	D	8421-5H		
		9381-5H	G 1 0 K 15/ 00	B

(全 22 頁)

(21) 出願番号	実願昭60-70725	(71) 出願人	999999999 ヤマハ株式会社 静岡県浜松市中沢町10番1号
(22) 出願日	昭和60年(1985)5月15日	(72) 考案者	安藤 繁雄 静岡県浜松市中沢町10番1号 日本楽器製 造株式会社内
(65) 公開番号	実開昭61-189700	(72) 考案者	五月女 弘海 静岡県浜松市中沢町10番1号 日本楽器製 造株式会社内
(43) 公開日	昭和61年(1986)11月26日	(74) 代理人	弁理士 加藤 邦彦
		審査官	河口 雅英
		(56) 参考文献	特開 昭57-202200 (J P, A) 特開 昭60-51894 (J P, A)

(54) 【考案の名称】 音響制御装置

1

【実用新案登録請求の範囲】

【請求項1】 受聴点に対して適宜の位置に配置されるメ
インスピーカ再生手段と、

受聴点の全周囲を取り囲むように配置される少なくとも
4個以上のサブスピーカ再生手段と、

前記メインスピーカをソース信号に応じて駆動するソー
ス再生系と、

音響空間における反射音の各仮想音源位置に対応して求
められる各反射音の到来方向と遅れ時間と振幅レベルか
らなる反射音データに基づき、前記各サブスピーカ再生
手段を用いて前記受聴点の周囲に前記音響空間またはこ
れに類似したモデル空間における多数の反射音を再生す
るために、前記各サブスピーカ再生手段の配置位置と前
記反射音データのうち各到来方向データとの関係から求
めた、前記各サブスピーカ再生手段で発すべき反射音の

2

遅れ時間とゲインとからなるインパルス応答特性を、各
サブスピーカ再生手段の反射音パラメータとしてそれぞ
れ記憶し、この記憶された各反射音パラメータに基づ
き、前記ソース信号に対して畳込み演算することによ
り、各サブスピーカ再生手段で発すべき反射音群の信号
をそれぞれ生成し、前記各サブスピーカ再生手段の対応
する位置のものをそれぞれ駆動する反射音再生系と、
前記反射音再生系で再生される反射音信号出力の再生音
量レベルと前記ソース再生系で再生される全ソース信号
再生出力の再生音量レベルをそれぞれ制御するものであ
って、当該両再生系の再生音量レベルの比を変化させる
ことなくこれら双方の再生音量レベルを増加または減
小させる全体音量制御と、当該両再生系の再生音量レ
ベルの比を変化させる音量比制御の双方を行なうことが
できる音量バランス制御手段と

10

3

を具備してなる音響制御装置。

【考案の詳細な説明】

〔産業上の利用分野〕

この考案は、通常の部屋やリスニングルーム等においてレコード等の再生をする場合に、ホール等の音響空間における反射音データに基づいてその音響空間（またはこれに類似するモデル空間）でのその再生信号の反射音をシミュレートすることにより、あたかもそのホール等で演奏された音を聴いているような雰囲気をかもし出すことのできる音響制御装置に関し、直接音と反射音の全体音量および音量バランスを調整できるようにしたものである。

〔従来の技術〕

通常のリスニングルームや部屋において音楽を聴く場合、ソースに何らかの残響音を付加することにより、臨場感を変化させることができる。残響音を付加する装置として、従来はソース自体に含まれる残響成分を、例えば左右のチャンネル信号を引算することにより抽出して、これを適当に強調したり、遅延したり、位相を変えたりする、いわゆるサウンドプロセッサがあった。

第2図は、このような従来のシステムを概念図で示したものである。すなわち、従来はコントロールファクタ10として、レコードやテープ等のソース12自体に含まれる残響成分を利用して、この残響成分をプロセッサ14で抽出、増強、遅延、移相等の処理をして、アンプ16, 18を介してスピーカ20, 22に供給するようにしていた。

ところが、ソース12に含まれる残響成分は、録音時にミキシングやエコー付けなどの処理により付与された人工的なものであり、当然自然な残響音とは異なり、これをいくら増強したり遅延させたり、位相変化させたりしたところで、到底、実際のホールの臨場感を得るまでには至らなかった。また、ソース自体に含まれている残響成分しか利用できないので、残響感が固定的であり、リスナーが各種のホール空間を自由自在に再現させることなど全く不可能であった。

そこで、このような従来装置の欠点を除去するものとして、実際のホール等における反射音をシミュレートするようにしたものが考えられている。これは、通常のリスニングルーム等内において受聴点（リスナーの位置）の周囲に複数個の反射音用スピーカを配置し、ホール等の音響空間における反射音データに基づき、その音響空間（またはこれに類似するモデル空間）での反射音をシミュレートするように各反射音用スピーカで発すべき反射音を生成するためのパラメータ（反射音パラメータ）を求め、この反射音パラメータに基づきソース信号の反射音を生成するようにしたものである（以下このようなシステム全体をサウンドルームシステムといい、これに用いられる部屋やリスニングルームをサウンドルームという。）。

なお、ここでいう「反射音データ」とは、音響空間にお

4

いて反射音を構成する要素となるデータであり、具体的には仮想音源分布等から求められる反射音の到来方向、距離（＝遅れ時間）および振幅レベル等のデータである。

また、「反射音パラメータ」とは、反射音データで特定される反射音を、サウンドルーム等において受聴点（リスナーが聴く位置）の周囲に配した複数のスピーカでシミュレートするために、各スピーカから発すべき反射音を生成するためのパラメータであり、具体的には遅れ時間とゲインのパラメータである。この反射音パラメータは、反射音データと、受聴点に対するスピーカの位置等の関係で求められる。

前記のサウンドルームシステムを用いる場合、直接音（ソース再生音）は前記反射音用スピーカから発することもできるがより良好な音質を望むならばこれとは別個に設けたメインスピーカから発するようにする（以下メインスピーカを別個に設けた場合について説明する。）。

サウンドルームシステムにおいては、メインスピーカからのソース再生音出力と、サブスピーカ（反射音用スピーカ）からの反射音出力とは、最適な音量関係を有する必要がある、いずれが多すぎても、再現すべき音響空間の雰囲気を正確にかもし出せない。したがって両者のバランス調整が必要であり、かつ部屋でのリスニングである以上、全体音量の増減も可能であることが必要である。また、その場合、ソース再生音出力と反射音出力とのバランスを保った状態で全体音量の増減が可能であることが望ましい。

〔考案が解決しようとする問題点〕

この考案は、サウンドルームシステムにおける前述のような要請に応える音量バランス制御装置を提供しようとするものである。

〔問題点を解決するための手段〕

この考案は、サウンドルームシステムにおいて、ソース再生音出力と反射音出力を全体音量および両者の音量比で調整する音量バランス制御手段を具備したものである。

〔サウンドルームシステムの原理〕

この考案の実施例を説明する前に、この考案が適用されるサウンドルームシステムについて説明する。

サウンドルームシステムとは、前述のように、通常のリスニングルーム等内において受聴点の周囲に複数個の反射音用スピーカを配置し、ホール等の音響空間における反射音データに基づき、その音響空間（またはこれに類似するモデル空間）での反射音をシミュレートするように各反射音用スピーカで発すべき反射音を生成するためのパラメータ（反射音パラメータ）を求め、この反射音パラメータに基づきソース信号の反射音を生成するようにしたものである。

反射音データは、反射音の到来方向、遅れ時間、振幅レ

ベル等で構成され、これはホール等の音響空間における仮想音源分布により求めることができる。ここで、仮想音源とは、ホール等の音響空間において、特定の受音点から見た実効的な反射音の音源をいう。すなわち、実音源（実際の音源をいう。）から発せられた音は、直接音として受音点に直接到達するほか、壁、天井、床、座席等音響空間内のあらゆる反射性部分にて反射し、受音点に到達する。この場合、受音点では、反射音は受音点と壁面等の反射点とを結ぶ線の延長上にある音源から発せられた音として見なすことができるから、これをその受音点における仮想の音源すなわち仮想音源として扱えることができる。

したがって、ある受音点における音響空間は、この受音点での仮想音源の分布として把握することができ、通常のリビングルームや部屋等においても、各仮想音源からの反射音をシミュレートすれば、その音響空間を再現し得て、実際にその音響空間内にいるかのように臨場感を味わうことができる。

仮想音源の位置は、受音点からの方向と距離で決定されるから、その仮想音源からの反射音をシミュレートするには、直接音を仮想音源の方向から、その距離に対応した時間遅れで、かつ反射音の振幅レベルに応じた音量で発すればよい。そして、これを音響空間における各仮想音源 1 つ 1 つについてそれぞれ行なえば、その音響空間を再現することができる。

仮想音源の求め方としては、再現しようとするホール等の音響空間で実際にインパルス応答を測定して求める方法とか、ホール等の音響空間の形状から計算により求める方法とがある。

① 測定により求める方法

前者の測定による方法としては、いわゆる 4 点法と呼ばれるものがある。これは、音響空間内の近接した 4 点のインパルス応答の時間差を利用して、その点から見た仮想音源の座標を求めるものである。

インパルス応答は、実音源と仮想音源から同時にインパルスを発したときの受音点での収音信号であると考えられ、応答の初期部分では反射音が重ならず個々に識別できるので、これを利用して仮想音源の分布を得る。

4 点法による測定は、第 3 図に示すように、対象とする

$$X_n = \frac{d^2 + r_{o_n}^2 - r_{x_n}^2}{2d}$$

$$Y_n = \frac{d^2 + r_{o_n}^2 - r_{y_n}^2}{2d}$$

音響空間 24 内の音源 26 によるインパルス応答をごく近接した 4 つの受音点 o, x, y, z で測定する。これらの受音点 o, x, y, z は一平面上にないことが必要条件であるが、後の処理を容易にするため、第 4 図に示すように、1 つの受音点 o を基準の原点として、他の 3 つの受音点 x, y, z が直交座標を形成するように配置する。原点 o との距離は等しく d とする。

無響室内に反射板を 1 枚設置した簡単な実験を例に説明する。

- 10 各受音点 o, x, y, z におけるマイクロホン $MIC_o, MIC_x, MIC_y, MIC_z$ の出力は、第 5 図に示すようになる。これは、直接音が各マイクロホン $MIC_o, MIC_x, MIC_y, MIC_z$ にそれぞれ時刻 $t_{o0}, t_{x0}, t_{y0}, t_{z0}$ に入射し、反射板からの反射音が $t_{o1}, t_{x1}, t_{y1}, t_{z1}$ に入射したことを示している。

第 6 図は、反射音の工程を模式的に示したものである。音源 26 は受音点 o, x, y, z から見て y 軸の方向にあるので、直接音はまずマイクロホン MIC_y に入射し、次にマイクロホン MIC_o, MIC_x, MIC_z にほぼ同時に入射する。このため、第 5 図のように、

$$t_{y0} < t_{o0} \approx t_{x0} \approx t_{z0}$$

が直接音について成立し、反射音については、

$$t_{y1} < t_{o1} \approx t_{z1} < t_{x1}$$

が成立する。

各受音点 o, x, y, z から仮想音源 26' までの距離 $r_{o1}, r_{z1}, r_{y1}, r_{x1}$ は音速を v とすると次式で表わされる。

$$r_{o1} = v \cdot t_{o1}$$

$$r_{x1} = v \cdot t_{x1}$$

$$r_{y1} = v \cdot t_{y1}$$

$$30 \quad r_{z1} = v \cdot t_{z1}$$

任意の仮想音源の座標を (X_n, Y_n, Z_n) 、その仮想音源から各受音点 o, x, y, z までの距離をそれぞれ $r_{o_n}, r_{x_n}, r_{y_n}, r_{z_n}$ として、各受音点 o, x, y, z を中心とし、仮想音源を表面上にもつ球の方程式は、

$$X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2 = r_{o_n}^2$$

$$(X_n - d)^2 + Y_n^2 + Z_n^2 = r_{x_n}^2$$

$$X_n^2 + (Y_n - d)^2 + Z_n^2 = r_{y_n}^2$$

$$X_n^2 + Y_n^2 + (Z_n - d)^2 = r_{z_n}^2$$

となる。この式を解くと、

$$Z_n = \frac{d^2 + r_{on}^2 - r_{zn}^2}{2d}$$

となる。

以上のようにして、各反射音に対応する仮想音源の座標を決定することができる。

一般に、インパルス応答は第5図のように単純ではなく、多くの反射音が集まって複雑な形をしている。特定の反射音を作り出したピークを各受音点のインパルス応答から選び出すには、短い区間の相互相関を用いる。すなわち、マイクロホンMIC₀の出力のある区間と最も相互相関係数が大きくなるような区間をマイクロホンMIC_x、MIC_y、MIC_zの出力の中から選び出して、反射音の到来時間 t_{on} 、 t_{xn} 、 t_{yn} 、 t_{zn} を決定する。

以上説明した4点法によりあるホールの仮想音源分布を測定した一例を第7図～第9図に示す。第7図はX-Y平面（水平面）への投影図、第8図はY-Z平面への投影図、第9図はX-Z平面の投影図である。図中○の大きさは反射音のレベルを表わし、これは例えばマイクロホンMIC₀で代表して測定される。

② 計算により仮想音源を求める方法

仮想音源を測定によらず計算により求める方法としては、鏡像法がある。これは第10図に示すように、壁面24を鏡にたとえ、実音源27から音を発し、受音点28で音を受ける場合に、壁面24での反射音を鏡でいう虚像位置にある音源30から仮想的に発せられたものとみなし、これら仮想音源30を音響空間の壁面形状に応じて求めていくものである。

鏡像法によりあるホールの仮想音源分布を求めた一例を第11図、第12図に示す。第11図はX-Y平面（水平面）への投影図、第12図はY-Z平面への投影図である。鏡像法の場合、振幅レベルは、受音点28から仮想音源までの距離に応じてそれぞれ設定する。

以上のようにして測定あるいは計算により求められた仮想音源分布のデータに基づいて、各仮想音源からのソース信号の反射音をサウンドルームでシミュレートする場合、サウンドルーム内の四方に複数のサブスピーカ（仮想音源の方向に対応）から適宜の時間遅れ（仮想音源までの距離に対応）と、適宜の音量（反射音の振幅レベルに対応）で発することにより、ソース信号の反射音をシミュレートすることができる。なお、直接音はソース信号そのものをメインスピーカから発するようにする。

この場合、サウンドルーム内における受聴点すなわちリ

2 d

スナーが聴く位置と各サブスピーカとの位置によって受聴点で聴く反射音の方向、距離、レベルが変動するから、受聴点に対するサブスピーカの位置（方向および必要に応じて距離）も考慮して、いずれの方向のサブスピーカからどの程度の音量と遅れ時間で反射音を発するかを算出する。

また、サブスピーカは理想的にはすべての仮想音源の方向に配置する必要がある。しかし、それを実現するには、受聴点を中心にサウンドルームの少なくとも上半球面に漏れなくサブスピーカを配置することになり、現実には実現不可能である。経済的には4個～10個程度が限度であるから、その程度の数のサブスピーカをサウンドルーム内の周囲に配置して、各サブスピーカの分担領域を定め、各領域内に含まれる仮想音源の反射音をそれぞれ対応するサブスピーカで代表してシミュレートするようにする。この方法によれば、隣接するサブスピーカの間にある仮想音源からの反射音はそのいずれか1つのサブスピーカで代表して発せられるので、厳密に言えば、仮想音源の方向を正確にシミュレートすることにはならないが、サブスピーカ個数がある程度多ければ、実用上は問題ないし、人の聴覚の方向判別能力に限界があることを考えれば、これでも十分である。

あるいは、隣接するサブスピーカの間にある仮想音源の方向を正確にシミュレートする必要がある場合には、それらのサブスピーカ間の音量配分により、それが実現可能である。

このように隣接するサブスピーカの間にある仮想音源からの反射音をいずれか1つのサブスピーカで代表してシミュレートする場合と、隣接するサブスピーカ相互間の音量配分によりシミュレートする場合において、各サブスピーカから発すべき音量および遅れ時間についてそれぞれ説明する。

① 1つのサブスピーカで代表してシミュレートする場合
第13図は、受聴点34を中心に8個のサブスピーカSP1～SP8を配置したものである。ここでは、音響空間を隣接するサブスピーカの中央位置と受聴点34とを結ぶ線で区切って、水平面で8つの領域d1～d8に分割する。各領域d1～d8にある反射音を P_{Mn} とすると、受聴点34でこれら反射音 P_{Mn} を得るに必要な各サブスピーカSP1～SP8の再生音 P_{Ms} （ $M=1\sim 8$ ）は次式で表わされる。

9

10

$$P_{1s}(t) = \sum_{n=1}^{N1} P_{1n} \cdot U(\tau_{1n})$$

$$P_{2s}(t) = \sum_{n=1}^{N2} P_{2n} \cdot U(\tau_{2n})$$

$$P_{3s}(t) = \sum_{n=1}^{N3} P_{3n} \cdot U(\tau_{3n})$$

$$P_{8s}(t) = \sum_{n=1}^{N8} P_{8n} \cdot U(\tau_{8n})$$

(1)

但し、

NM (M=1~8) : 各領域d8~d8にある仮想音源数 (= 反射音数)

U: ユニット関数

t: 時間

τ_n : 反射音の遅れ時間

②隣接するサブスピーカ相互間の音量配分によりシミュレートする場合。

第14図に示すように、サウンドルーム50内の例えば四隅に4個のサブスピーカSP1~SP4を配置し、受音点38と各サブスピーカSP1~SP4を結ぶ線で4つの象限n, m, l, kに

区分し、各サブスピーカSP1~SP4でそれぞれの左右の象限にある仮想音源からの反射音をシミュレートする。すなわち、サブスピーカSP4, SP1の音量比で象限n内の反射音をシミュレートし、サブスピーカSP1, SP2の音量比で象限m内の反射音をシミュレートし、サブスピーカSP2, SP3の音量比で象限l内の反射音をシミュレートし、サブスピーカSP3, SP4の音量比で象限k内の反射音をシミュレートする。各反射音をシミュレートするに必要な各サブスピーカSP1~SP4の再生音 P_{Ms} (M=1~4) は次式のようなになる。

30

11

12

$$P_{1s}(t) = \sum_{n=1}^{N1} P_n \times \cos(\theta_n - \theta_1) \cdot U(\tau_{1n}) + \sum_{m=1}^{M1} P_m \times \cos(\theta_m - \theta_1) \cdot U(\tau_{1m})$$

$$\tau_{1n} = \tau_n - 0.22 \cos(\theta_n)$$

$$\tau_{1m} = \tau_m - 0.22 \cos(\theta_m)$$

$$P_{2s}(t) = \sum_{n=1}^{N1} P_n \times \cos(\theta_n - \theta_2) \cdot U(\tau_{2n}) + \sum_{l=1}^{L1} P_l \times \cos(\theta_l - \theta_2) \cdot U(\tau_{2l})$$

$$\tau_{2n} = \tau_n + 0.22 \cos(\theta_n)$$

$$\tau_{2l} = \tau_l - 0.22 \cos(\theta_l)$$

$$P_{3s}(t) = \sum_{l=1}^{L1} P_l \times \cos(\theta_l - \theta_3) \cdot U(\tau_{3l}) + \sum_{k=1}^{K1} P_k \times \cos(\theta_k - \theta_3) \cdot U(\tau_{3k})$$

$$\tau_{3l} = \tau_l + 0.22 \cos(\theta_l)$$

$$\tau_{3k} = \tau_k - 0.22 \cos(\theta_k)$$

$$P_{4s}(t) = \sum_{k=1}^{K1} P_k \times \cos(\theta_k - \theta_4) \cdot U(\tau_{4k}) + \sum_{n=1}^N P_n \times \cos(\theta_n - \theta_4) \cdot U(\tau_{4n})$$

$$\tau_{4k} = \tau_k - 0.22 \cos(\theta_k)$$

$$\tau_{4n} = \tau_n + 0.22 \cos(\theta_n)$$

(2)

但し、

Pn, Pm, Pl, Pk: 反射音のレベル

 $\tau_n, \tau_m, \tau_l, \tau_k$: 反射音の遅れ時間 $\theta_n, \theta_m, \tau_l, \tau_k$: 反射音のX-Y平面(水平面)上での方向角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$: サブスピーカSP1~SP4のX-Y平面上での方向角度 $\tau_{Mn}, \tau_{Mm}, \tau_{Ml}, \tau_{Mk}$: 各サブスピーカ再生音の遅れ時間。±の修正項はリスナーの両耳間距離による補正で

50 あり、ここでは15cmの場合を想定している。

$N1, M1, L1, K1$: 各象限 n, m, l, k にある仮想音源数

t : 時間

U : ユニット関数

なお、上式では隣りあうサブスピーカの中間にある仮想音源からの反射音の到来方向をシミュレートするために、それらの間の信号配分を第15図に示すCOS関数とした場合について示したが、第16図に示す線形関数あるいは第17図に示すlog関数等スピーカ配置あるいはスピーカ特性等に応じて反射方向を最も近似できるものを用いるようにする。

以上説明した信号配分により、第14図のサブスピーカ配置を利用してすべての方向からの反射音をシミュレートすることができる。

なお、前記第(1)式、第(2)式において、反射音の遅れ時間 $\tau_n, \tau_m, \tau_l, \tau_k$ として、音源で音が発せられた時刻でなく直接音が到来した時刻を基準(時刻0)とした値を用いれば直接音の時間遅れを考慮しなくてすむから、サウンドルームで反射音をシミュレートする場合に、直接音は通常のスtereo再生用のメインスピーカから発することですみ、構成が簡略化される。

また、サブスピーカと受聴点との間には距離があり、時間差が生じるので、仮想音源から発した反射音をより正確にシミュレートするには、この時間遅れをも考慮したうえで各サブスピーカからの再生音を求めるようにする。

第18図は、4点法を用いて或るホールの仮想音源からの反射音データ(到来方向、距離、振幅レベル)を測定し、これに基づき反射音を第4図のスピーカ配置でシミュレートする場合に、各サブスピーカSP1~SP4から再生すべき信号 P_{MS} ($M=1\sim4$) を前記第(2)式から求めたものである(なお、第18図では直接音が到来した時点を時刻0として時間軸方向を表わしている)。これは、各サブスピーカSP1~SP4から出力される信号の反射音構造を示しており、各サブスピーカ方向でのインパルス応答とも考えてよい。隣り合うサブスピーカのインパルス応答には相互に関連があり、すなわち、これらサブスピーカ方向間に位置する反射音が両サブスピーカによって正しくその方向に定位するように両インパルス応答の振幅レベル遅延時間が予め計算されている。

ソース信号(レコード再生信号等の連続信号)について反射音を生成する場合は、ソース信号を構成する各サンプル値について、これらインパルス応答をパラメータ(ゲインおよび遅延時間について)として、反射音列を生成し(サンプル値が得られた時刻を基準として個々の反射音を発生する遅延時間を計数し、サンプル値に個々のゲインを掛けたレベルで個々の反射音のレベルを定める)、各サンプル値について得られるこれらの反射音列を各時点において相互に加算していけば、各サブスピーカ方向における反射音が生成され、これらに対応するサブスピーカから発すれば、受聴点38(第14図)で聴い

ている人にとっては、あたかもその仮想音源分布で特定されるホール等の音響空間にいるような臨場感を味わうことができる。

インパルス応答の反射音パラメータに基づく反射音生成処理としては、後述する遅延信号のたたみ込み演算によるものを用いることができる。

【実施例】

次に、以上説明したサウンドルームシステムにおいて、メインスピーカとサブスピーカの音量バランスおよび全体音量を制御するこの考案の音量バランス制御装置の一実施例を第1図に示す。ここでは、サウンドルーム50の前方左右にメインスピーカ64, 66を配置し、四隅にサブスピーカ56, 58, 60, 62, を配置している。ソース44からの信号はプリアンプ68、プロセッサ46、パワーアンプ70を介して、直接音としてメインスピーカ66から発生される。また、プロセッサ46では各チャンネルの反射音パラメータに基づき、ソース44の信号の反射音信号を各チャンネルごとに生成して、4チャンネルアンプ72を介して各サブスピーカ56, 58, 60, 62に供給する。反射音パラメータは、リスナー74がその受聴位置においてリモートコントローラ76の操作により可変可能である。

なお、実際のホールでは、音源と受音点との距離により直接音にも時間の遅れが生じるが、ここでは直接音が到来した時刻を0として、その時点を基準に遅れ時間の反射音パラメータを定めているから、直接音は時間遅れを持たせずにそのままメインスピーカ64, 66から発しても、直接音と反射音のタイミングはうまく取られる。また、サウンドルームシステムではサウンドルーム50自体での反射はできるだけ少ないほうが望ましい。したがって、リスニングルーム50は、適度な吸音処理を施して、デッドな特性とする。

プロセッサ46は、リモートコントローラ76の操作により、音量を制御する。音量制御は、全体音量の制御と、メインスピーカ64, 66とサブスピーカ56, 58, 60, 62の音量バランスの制御について行なう。

〔プロセッサ46の具体例(1)〕

ここで、第1図におけるプロセッサ46の具体例を第19図に示す。第19図において、前記プリアンプ68からの左右各チャンネルのオーディオ入力、全体音量及びバランス制御回路51に入力されて、全体音量調整およびソース音と反射音の音量バランス調整が行なわれる。全体音量及びバランス制御回路51の構成例を第20図、第21図、第22図に示す。

第20図のものは、前記メインスピーカ66を駆動するソース再生系41と、サブスピーカ56, 58, 60, 62を駆動する反射音再生系43が分岐する手前にVCA45を挿入して、全体音量を調整している。また、反射音再生系43にVCA47を挿入して、反射音量を調整することによりソース音(直接音)と反射音の音量バランスを調整している。

なお、音量制御素子としては、上記VCAの代わりにモー

タ駆動ポリウム等を用いることも可能である。以下、VC Aで代表して説明する。

第21図のものは、全体音量の調整は第22図のものと同一であるが、音量バランスの調整は、ソース再生系41と反射音再生系43にVCA49, 47をそれぞれ挿入し、これらを相補的に（一方のゲインが上がれば、他方のゲインが下がるような関係）に制御することにより実現している。

第22図のものは、ソース再生系と反射音再生系43にVCA49, 47をそれぞれ挿入し、これらで全体音量調整とバランス調整の両方を行なうようにしたものである。バランス調整がなされるとVCA49, 47は相補的にすなわち相互に逆方向に駆動されてバランス調整がなされ、全体音量が調整されると、VCA49, 47は同じ方向に駆動されて全体音量が調整される。

これら第20図、第21図、第22図の構成によれば、ソース音と反射音を所定の音量バランスに保った状態で、全体音量を調整することができる。

第19図において、ソース再生系41に導かれた信号は、メインアンプ（第1図のパワーアンプ70）を介してメインスピーカ64, 66（第1図）に供給され、直接音として発せられる。

反射音再生系43に導かれた信号は、ミキシング回路100でミキシングされ、入力ポリウム（回路ゲインの調整用あるいは回路のダイナミックレンジの有効活用調整用）102、ローパスフィルタ（A/D変換の際の折り返し防止用）およびサンプル・ホールド回路104を介して、A/D変換器106でA/D変換される。そして更に、反射音に周波数特性を付与するために、各チャンネルごとにデジタルフィルタ108, 110, 112, 114に通される。

デジタルフィルタ108, 110, 112, 114から出力されたソース信号は、各チャンネルの反射音生成回路116, 118, 120, 122に入力される。反射音生成回路116, 118, 120, 122では、マイクロコンピュータ124の指令により、メモリ126に記憶されている各チャンネルの反射音パラメータ（遅れ時間データとゲインデータ）に基づき、各チャンネルごとにソース信号の反射音信号をそれぞれ生成する。生成されたこれらの反射音信号は、D/A変換器124において時分割多重的にD/A変換される。D/A変換器124の出力信号は、各チャンネルごとに時分割して振り分けられて、サンプル・ホールド回路およびローパスフィルタ126, 128, 130, 132でそれぞれ、平滑され、アナログ信号に戻される。そして、半固定形の出力ポリウム134, 136, 138, 140およびパワーアンプ48, 50, 52, 54を介して各チャンネル

n

$$X_{out} = \sum_{i=1}^n X_{i.} \cdot g_i \quad (3)$$

なる反射音信号が出力される。

第24図の反射音生成回路116（118, 120, 122も同じ）の具体例を第25図に示す。

のサブスピーカ56, 58, 60, 62にそれぞれ供給される。これにより、各サブスピーカ56, 58, 60, 62からは、各対応する方向の仮想音源からの反射音が発生され、その仮想音源の分布で特定されるホール等の音響空間が再現される。

なお、メモリ（ROM）126にはホール等各種音響空間の反射音パラメータおよびデジタルフィルタ108, 110, 112, 114の周波数特性のパラメータが各チャンネルごとに記憶されており、ワイヤレスリモコン76の操作に基づき、リモコンセンサインターフェイス142を介して、マイクロコンピュータ124の指令によりそのいずれかのホールのパラメータが読み出される。

読み出されたこれらのパラメータはRAM127に一旦転送される。そして、このRAM127に保持されたパラメータに基づきデジタルフィルタ108, 110, 112, 114の周波数特性が制御される。RAM127に保持された周波数特性のパラメータは、ワイヤレスリモコン76の操作により好みに応じて調整が可能である。

また、RAM127に保持された反射音パラメータに基づき、反射音生成回路116, 118, 120, 122で各チャンネルごとにソース信号の反射音が生成される。RAM127に保持された反射音パラメータは、ワイヤレスリモコン76の操作により調整が可能であり、これにより残響感を自分の好みに応じて変更することができる。

ところで、反射音生成回路116, 118, 120, 122は、それらの入力信号（ソース信号）を遅延した信号の重ね合せ（たたみ込み演算）により反射音信号を生成することができる。このたたみ込み演算による反射音生成について以下説明する。

たたみ込み演算による反射音生成は、前記第18図に示した各チャンネルの反射音パラメータ列に基づき、ソース信号（直接音）から種々の時間遅れと振幅レベルを持つ信号を作り、それらを重ね合わせるものである。すなわち、1つのチャンネルについて説明すると、そのチャンネルで利用すべき反射音パラメータ列が、第23図に示すように入力信号（直接音）を基準として、遅れ時間 τ_i ($i=1, 2, \dots, n$) とゲイン（振幅レベル） g_i のパラメータの組み合わせで構成されているとすると、第24図に示すように、マルチタップを有するディレイメモリ163を用いて、遅れ時間 τ_i に対応する各タップからそれぞれ遅延信号を取り出して、振幅調整器152-1乃至152-nでゲイン g_i をそれぞれ付与して、加算器153で合成する。これにより、加算器153からは、

なお、ディレイメモリ163の構成については、アナログ信号の場合はBBDやCCD等の電荷転送素子を用いたもの、デジタル信号の場合はシフトレジスタあるいはRAMを

用いてプログラム制御したデジタルメモリ等を用いることができるが、以下の実施例では構成的に自由度が大きく、パラメータ（遅延時間およびゲイン）の設定、変更が容易なRAMを用いた場合について説明する。

第25図において、パラメータメモリ（RAM）160は、ワイヤレスリモコン76の操作によりメモリROM（第19図）126から読み出されRAM127に転送された反射音パラメータのうち、該当するチャンネル（反射音生成回路116であれば前方左チャンネル）の反射音パラメータを各アドレスに記憶する。記憶された反射音パラメータを下表に示す。

アドレス	遅延時間データ(整数値)	ゲインデータ
0	0	0

$$\frac{\tau_1}{\tau_0}, \frac{\tau_2}{\tau_0}, \dots \quad (\text{整数値}) \text{ は、遅延時間}$$

τ_1, τ_2, \dots に対応するサンプルの位置を（すなわちいくつ前のサンプルかを）示すものとなる。

データメモリ（ダイレイメモリ）163はRAMで構成され、前記デジタルフィルタ108, 110, 112, 114（第21図）か

$$\frac{\tau_1}{\tau_0}, \frac{\tau_1}{\tau_0}, \dots \text{ に対応した位置の遅延デ}$$

タが読み出される。

カウンタ164はデータメモリ163において書き込みを行なう現アドレスを指示するもので、入力信号の1サンプル周期ごとにインクリメントされていく。

カウンタ165はパラメータメモリの読出しアドレスを指定するもので、入力信号の1サンプル周期内で0からnまでカウントアップして遅延時間データおよびゲインデータの各パラメータを読出す。

マルチプレクサ166はパラメータメモリ160に加えるアドレス指令をパラメータコントローラ162からの書き込みアドレスあるいはカウンタ165からの読出しアドレスのいずれかに切替えるものである。

引算器167はカウンタ164からの現アドレスとパラメータメモリ160からの遅延時間データを引算した値をデータメモリ163のアドレス指令として出力するものである。

データメモリ163は、パラメータメモリ160の読出しアドレスが0のとき（すなわち遅延時間データ、ゲインデータとも0が読出されているとき）は書き込みモードに切替えられるため、このとき引算器167の出力（すなわちカ

アドレス	遅延時間データ(整数値)	ゲインデータ
1	τ_1 / τ_0	g_1
2	τ_2 / τ_0	g_2
3	τ_3 / τ_0	g_3
\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots
n	τ_n / τ_0	g_n

10 なお、この表で τ_0 は入力信号の1サンプリング周期を示すものである。従って遅延時間データ

ら出力されるデジタル化されたソース信号が順次書込まれるとともに、パラメータメモリに記憶された遅延時間データ

ウンタ164からの現アドレス）は書き込みアドレス指令としてデータメモリ163に加わる。また、データメモリ163は、パラメータメモリ160の読出しアドレスが0以外のときは読出しモードに切換えられるため、このとき引算器167の出力（すなわち現アドレスに対して遅延時間データに相当する距離離れたアドレス）は読出しアドレス指令としてデータメモリ163に加わる。

乗算器168はデータメモリ163から読出された遅延信号にそのときパラメータメモリ160から読出されている対応するゲインデータを付与するものである。

アキュムレータ169は乗算器168から出力される遅延信号をレジスタ175と加算器170で累算（たたみ込み演算）して、前記第（3）式に示した反射音信号を作成するものである。アキュムレータ169で作成された反射音信号はその後D/A変換器124（第19図）でD/A変換されて出力される。なお、アンド回路171は、反射音信号が作成されるごとに信号C3によりそれまでの累算データを遮断して、累算値を0にリセットするものである。

タイミングコントローラ172は上記の各回路を動作させ

るための各タイミング信号C1～C5を作成するためのものである。

次に第25図の装置の動作について説明する。

(1) 反射音パラメータの設定

はじめに、ワイヤレスリモコン76の操作により、再現しようとするホールを選択する。これにより、ROM126（第19図）からは該当するホールの反射音パラメータ $\tau_1 \sim \tau_n$ 、 $g_1 \sim g_n$ が読み出され、RAM127（第19図）を介してパラメータメモリ160に書き込まれる。書き込まれた反射音パラメータ $\tau_1 \sim \tau_n$ 、 $g_1 \sim g_n$ は、ワイヤレスリモコン76の操作により調整が可能である。

この書き込みおよび調整を行なうときは、パラメータメモリ160は書き込みモードに切替えられ、マルチプレクサ166はパラメータアドレス166側に切替えられている。

(2) 残響信号の作成

パラメータの設定が終わったら、パラメータメモリ160を読み出しモードに切替え、マルチプレクサ166をカウンタ165側に切替え、データメモリ163に入力信号を供給して反射音信号の作成を行なう。

反射音信号の作成は入力信号の1サンプリング周期を1単位として、その中で①データメモリ163への入力信号の書き込み②データメモリ163から設定された各遅延時間 $\tau_1 \sim \tau_n$ に対応した遅延信号の読み出し③読み出された各遅延信号に対する重み付け（ $g_1 \sim g_n$ ）④累算を行なって反射音信号を作成する。各々の工程について第25図のタイムチャートを参照して説明する。

① データメモリ163への入力信号の書き込み

クロックC1の立上りでクロックC4がローレベルとなってカウンタ165はクリアされる。したがって、パラメータメモリ160はアドレス0が指定され、遅延時間データ、ゲインデータとも「0」が読み出される。そして、次のクロックC5の立上りでクロックC2も立上り、データメモリ163は書き込み状態となる。このとき、パラメータメモリ160からの遅延時間データは上述のように「0」であるから、引算器167の出力はカウンタ164の出力そのものであり、データメモリ163におけるこのカウンタ164の出力の示すアドレスに入力信号が書き込まれる。

② データメモリ163からの遅延信号の読み出し

データメモリ163への書き込みが終了すると、データメモリ163は読み出しモードとなる。クロックC5は1サンプリング周期内に前記書き込みの1回と、読み出しのn回の合わせてn+1回立上る。カウンタ165はこのクロックC5をカウントして、そのカウント値をパラメータメモリ160に加えて遅延時間データとゲインデータの各パラメータ $\tau_1 \sim \tau_n$ 、 $g_1 \sim g_n$ を読み出す。例えば、カウンタ165のカウント値が「1」のときは、パラメータメモリ160のアドレス1から遅延時間データ

20
 τ_1

τ_0

20
 τ_2

τ_0

およびゲインデータ g_1 が読み出される。更に、順次アドレス2から

τ_n

20
 τ_0

と g_2 、…アドレスnから

と g_n がそれぞれ読み出される。

パラメータメモリ160から読み出された遅延時間データは引算器167でカウンタ164のカウント値と引算され、引算器167からはカウンタ164のカウント値すなわち現アドレスを基準として遅延時間データの示す距離だけ手前のアドレスが出力され、データメモリ163から対応するアドレスに記憶されている遅延信号 $X_1 \sim X_n$ が読み出される。

③ 重み付け

データメモリ163から読み出された遅延信号は、乗算器168において、パラメータメモリ160から読み出された各対応するゲインデータ $g_1 \sim g_n$ を付与される。

④ 累算

反射音信号は、カウンタ165のカウント値が「1」から「n」まで変化する間に乗算器168から出力されるデータ $g_1 \cdot X_1 \sim g_n \cdot X_n$ を累算して得られる。この累算を行なうため、アキュムレータ169は、カウンタ165のカウント値が「1」のときクロックC3が立下がって、前の累算値がリセットされる。すなわち、カウンタ165が「1」のときアンド回路171はオフとなって、加算器170の出力は乗算器168の出力 $g_1 \cdot X_1$ のみの値となりレジスタ175に保持される。次のクロックC5のタイミングでレジスタ175は $g_1 \cdot X_1$ を出力し、加算器170で次のデータ $g_2 \cdot X_2$ に加算されて、レジスタ175の値が書き替えられる…という具合に順次加算（累算）をくり返し、n項加算して

$$\sum_{i=1}^n g_i \cdot X_i$$

が得られたところで、この値を反射音信号として出力する。

以上の動作によって、入力信号のサンプリング周期ごとに反射音信号が生成される。

なお、上記の説明では複数チャンネルある反射音信号のうち1つのチャンネルについてのみ示したが、他のチャンネルの反射音信号も同様の構成で生成することができる。

〔プロセッサ46の具体例(2)〕

第1図におけるプロセッサ46の別の例を第27図に示す。これは、前記第19図の実施例が反射音生成処理前に反射音再生系43の音量を制御していたのに対し、反射音生成処理後に反射音再生系43の音量を制御するようにしたものである。これは、反射音生成処理前に音量制御をすると、音量を絞ったとき、反射音生成処理で扱う信号レベルが小さくなりすぎて回路のダイナミックレンジの効率よい利用を損なうことを防止するものである。すなわち、反射音生成のためのデジタル処理部分を常に適切なレベルにするため、この反射音再生系での出力コントロールは、各サブスピーカ56, 58, 60, 62の駆動用パワー

アンプ48, 50, 52, 54の直前で行なっている。

なお、第27図においては、第19図の実施例と共通する部分には、同一の符号を用いている。

第27図の回路の各部について説明する。

プリアンプ68(第1図)から出力されるオーディオ入力、入力ボリューム200を介してアンプ202に入力される。アンプ202には、加算器206, 208が設けられ、マイクロホン210, 212, 214の收音信号がマイクアンプ216、ボリューム218, 220, 222、ミキシング回路224を介して加算できるようになっている。マイクロホン212, 214はサウンドルーム50(第1図)の天井等に埋め込まれたもの、マイクロホン210は移動形のものでジャック211に差し込まれて使用される。このような構成により、このサウンドルーム50をステレオ装置等の再生の他に楽器演奏にも使用することが可能となる。また、ステレオ装置の伴奏でボーカルを楽しむこともできる。もちろん、これらの場合にもサウンドルームシステムを生かして、あたかもホール等で演奏または歌唱している雰囲気を出すことができる。加算器206, 208の出力は、ソース再生系41と、反射音再生系43に分岐される。ソース再生系41には、ソース再生系41の音量調整用のVCA204が挿入されている。反射音再生系43にはVCAは挿入されておらず、一定音量で反射音生成処理が行なわれる。

反射音再生系43に導かれた信号は、加算器226で加算され、ローパスフィルタおよびサンプルホールド回路104, A/D変換器106, パラメトリック・ディジタル・イコライザ(ディジタルフィルタ)107を介して、各チャンネルの反射音及び残響音生成回路116', 118', 120', 122'にそれぞれ入力される。

反射音及び残響音生成回路116', 118', 120', 122'は

第19図の反射音生成回路116, 118, 120, 122にくし形フィルタ、オールパスフィルタ等単純なフィードバックループで構成される残響付加装置を付加したもので、ソース自体に残響音成分が少ない楽器演奏やボーカルにこのサウンドルームシステムを使用する場合に初期反射音の後に残響音を付加するものである。

反射音及び残響音生成回路116', 118', 120, 122'の出力信号はD/A変換器124において時分割多重的にD/A変換される。D/A変換器124の出力信号は、各チャンネルごとに時分割して振り分けられて、サンプル・ホールド回路およびローパスフィルタ126, 128, 130, 132でそれぞれ平滑され、アナログ信号に戻される。そして、このアナログ信号(反射音信号)VCA230, 232, 234, 236で音響調整されて、パワーアンプ48, 50, 52, 54を介して各サブスピーカ56, 58, 60, 62にそれぞれ導かれる。これにより、サブスピーカ56, 58, 60, 62からは、各対応する方向の仮想音源からの反射音が発生され、その仮想音源の分布で特定されるホール等の音響空間が再現される。

なお、メモリ(ROM)126にはホール等各種音響空間の反射音パラメータが各チャンネルごとに記憶されており、ワイヤレスリモコン76の操作により、いずれかの音響空間の反射音パラメータが読み出され、RAM127に転送される。マイクロコンピュータ127は、このパラメータに基づき反射音及び残響音を作成するように、非同期プログラマブル入出力インターフェイス250を介して反射音及び残響音生成回路116', 118', 120', 122'を制御する。

音量バランス調整は、ワイヤレスリモコン76により行なわれる。すなわち、ワイヤレスリモコン76は全体音量の制御と、ソース音と反射音の音量バランス制御を行なう。全体音量の制御操作がなされると、その操作がリモコンセンサインターフェイス142を介してマイクロコンピュータ127に伝えられ、マイクロコンピュータ127はD/A変換器252を介してソース再生系41のVCA204および反射音再生系43のVCA230, 232, 234, 236を同じ方向に駆動して、全体音量が制御される。

また、音量バランスの制御操作がなされると、マイクロコンピュータ127はD/A変換器252を介してソース再生系41のVCA204および反射音再生系43のVCA230, 232, 234, 236を相補的に(すなわち逆方向に)駆動して、ソース音と反射音の音量バランスが制御される。全体音量を制御してもこの音量バランスは保たれる。

〔変更例〕

前記実施例ではソース再生系と反射音再生系に別々にスピーカを設けたが、共通のスピーカを用いて両再生系の信号をミキシングして供給するように構成することもできる。

〔考案の効果〕

以上説明したように、この考案によればサウンドルームシステム自体の効果として、限られたスピーカ数で反射

音 1 本 1 本について実音場の反射音到来方向と同等の方向性を付与でき、もって受音点では全周囲にわたって反射音場が実現される。したがって、実際のホール等における多数の反射音を忠実にシミュレートすることができ、リスニングルーム等においてそのホールの臨場感を味わうことができる。また、再生反射音はインパルス応答のたたみ込み演算で生成されるので、1 本 1 本を個々にかつ忠実に実現でき、実音場の臨場感を正確に再現できる。

また、この考案によれば、このようなサウンドルームシステムにおいて、ソース再生系と反射音再生系の全体音量および両者の音量比を調整するようにしたので、所望の全体音量および音量比に設定することができる。したがって、再生環境にかかわらず常にソース音と反射音の最適バランス状態を得ることができ、音響空間の雰囲気も正確にかもし出すことができるとともに、その音響空間状態を適確に維持したまま、必要に応じて、聴取音量を自由自在に変化させることができる。

また、反射音群の状態（各遅れ時間、レベル）を変えずに、直接音（ソース信号）の音量のみ変化させることにより、その反射音状態によって形づくられる音場感（ホール感）を変えことなく、その音場の中で客席位置のみ後方、前方に移動したような状態を再現することもできる（直接音の音量は、音源と受聴位置との距離を決める要素となるため。）

【図面の簡単な説明】

第 1 図は、この考案の一実施例を示すブロック図である。

第 2 図は、従来の音響制御装置の概念図である。

第 3 図は、4 点法による仮想音源の測定方法を示す斜視図である。

第 4 図は、第 3 図におけるマイクロホンの配置を示す斜視図である。

第 5 図は、第 4 図のマイクロホンによるインパルス応答の測定結果を示す波形図である。

第 6 図は、第 5 図の測定結果に基づく仮想音源位置の算出方法を示す図である。

第 7 図、第 8 図、第 9 図は 4 点法により求められた仮想音源分布を示す図で、第 7 図は X-Y 平面投影図、第 8 図は Y-Z 平面投影図、第 9 図は X-Z 平面投影図であ

る。

第 10 図は、鏡像法による仮想音源測定法の原理を示す図である。

第 11 図、第 12 図は鏡像法により求められた仮想音源分布を示す図で、第 11 図は X-Y 平面投影図、第 12 図は Y-Z 平面投影図である。

第 13 図は、周囲 8 個のサブスピーカによる反射音再生状態を示す平面図である。

第 14 図は、周囲 4 個のサブスピーカによる反射音再生状態を示す平面図である。

第 15 図、第 16 図、第 17 図は、隣接するサブスピーカの中間にある反射音をシミュレートするための、各サブスピーカ間の音量配分を示したもので、第 15 図は COS 関数によるもの、第 16 図は線形関数によるもの、第 17 図は log 関数によるものである。

第 18 図は、4 点法による反射音測定データに基づき第 14 図のサブスピーカ配置でその反射音をシミュレートする場合に、各サブスピーカに供給すべき反射音を作成するために用いられる反射音パラメータ列を示す図である。

第 19 図は、第 1 図のプロセッサ 46 の具体例を示すブロック図である。

第 20 図、第 21 図、第 22 図は、それぞれ第 19 図における全体音量及びバランス制御回路 51 の具体例を示す回路図である。

第 23 図は、第 19 図の反射音生成回路 116、118、120、122 において反射音生成に利用される反射音パラメータ列を示す図である。

第 24 図は、第 23 図の反射音パラメータを利用してたたみ込み演算により入力信号の反射音信号を生成するように構成した第 19 図の反射音生成回路 116（118、120、122）を示す回路図である。

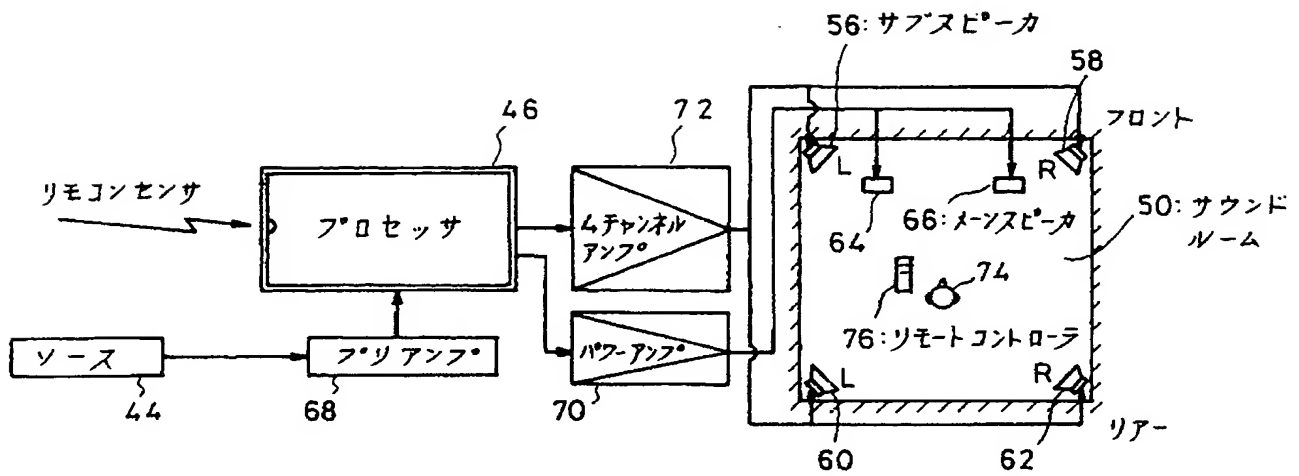
第 25 図は、第 24 図の反射音生成回路 116（118、120、122）の具体例を示すブロック図である。

第 26 図は、第 25 図の回路の動作を示すタイムチャートである。

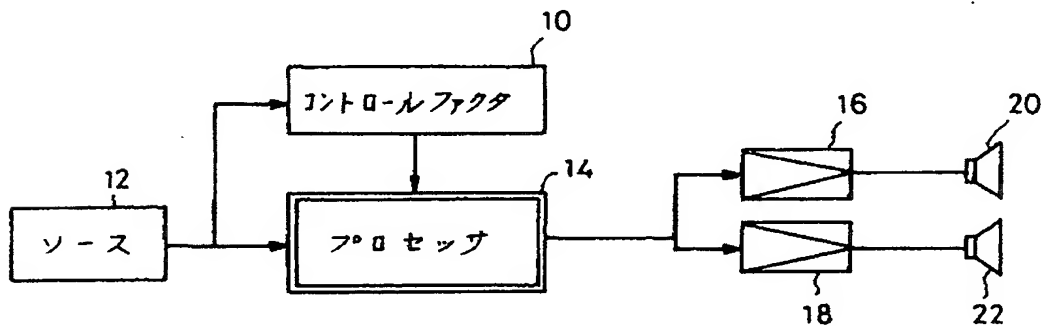
第 27 図は、第 1 図プロセッサ 46 の他の具体例を示すブロック図である。

41……ソース再生系、43……反射音再生系、51……全体音量及びバランス制御回路、64、66……メインスピーカ、56、58、60、62……サブスピーカ。

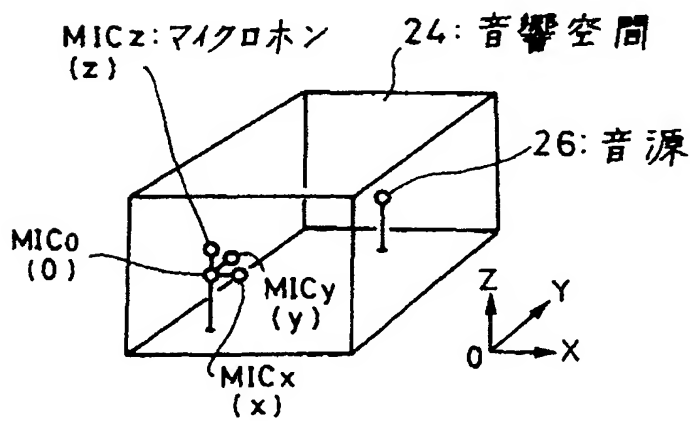
【第1図】



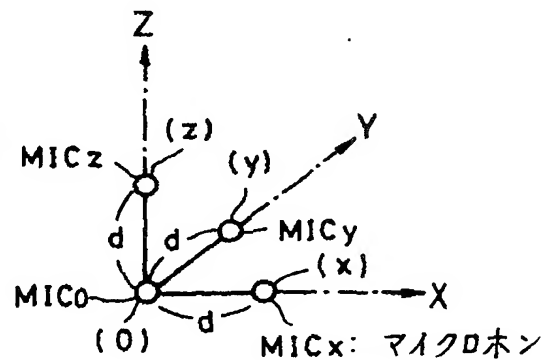
【第2図】



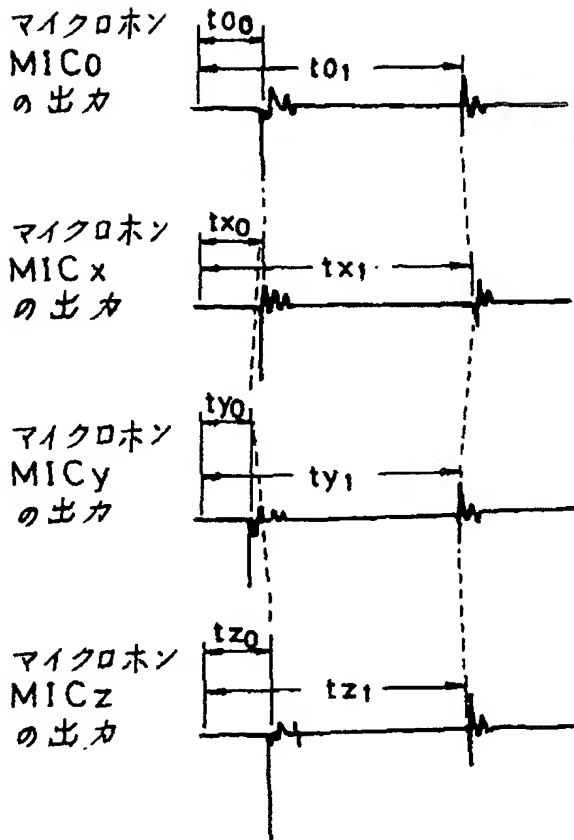
【第3図】



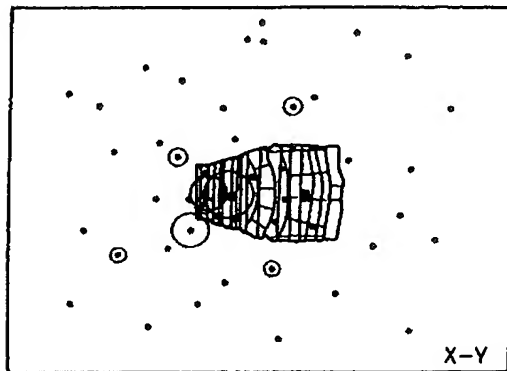
【第4図】



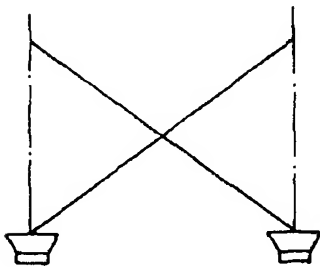
【第5図】



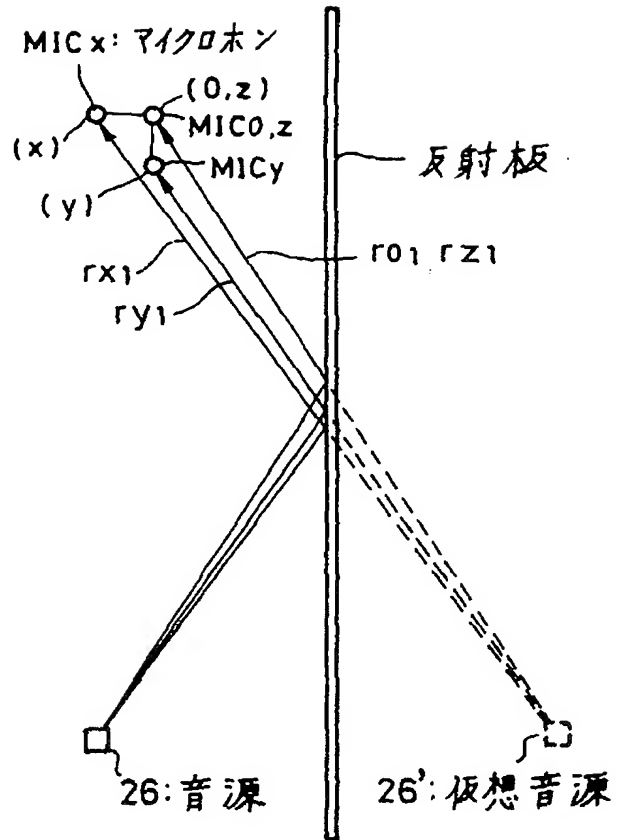
【第7図】



【第16図】

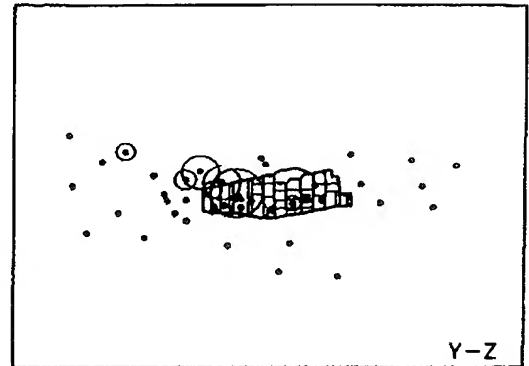


【第6図】

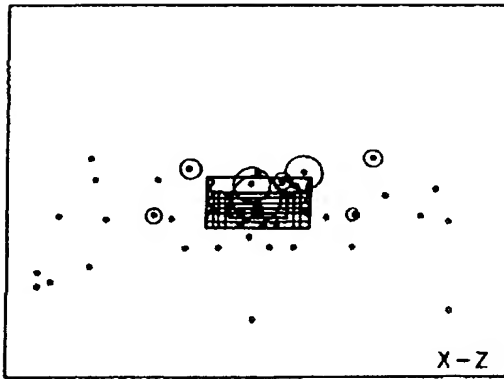


【第8図】

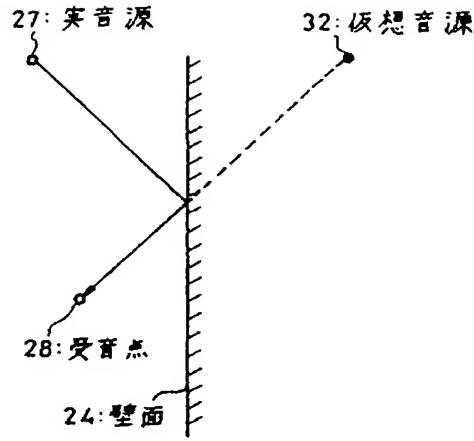
(▲: 実音源
■: 受音源)



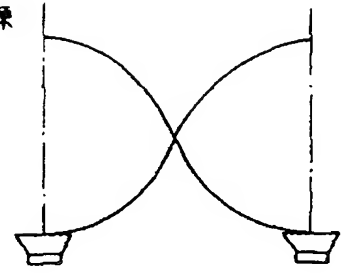
【第 9 図】



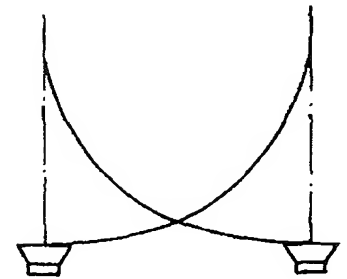
【第 10 図】



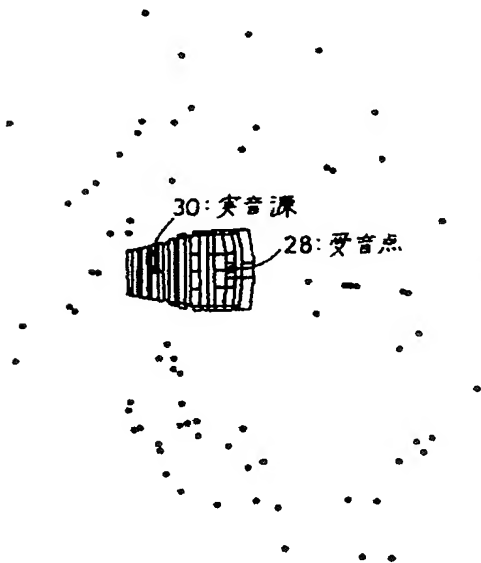
【第 15 図】



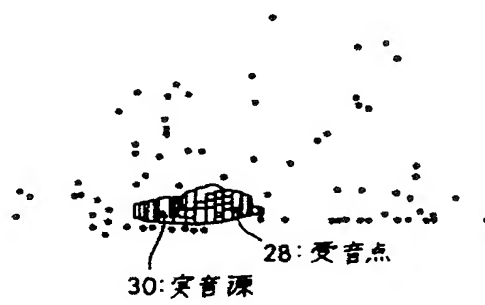
【第 17 図】



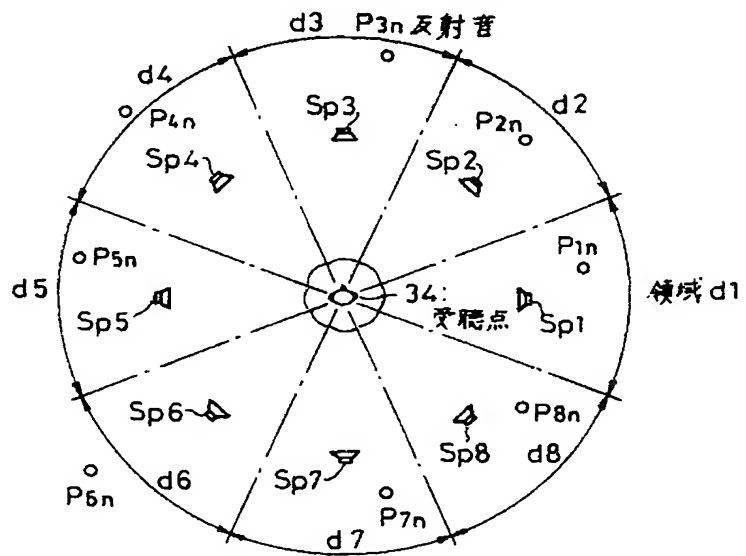
【第 11 図】



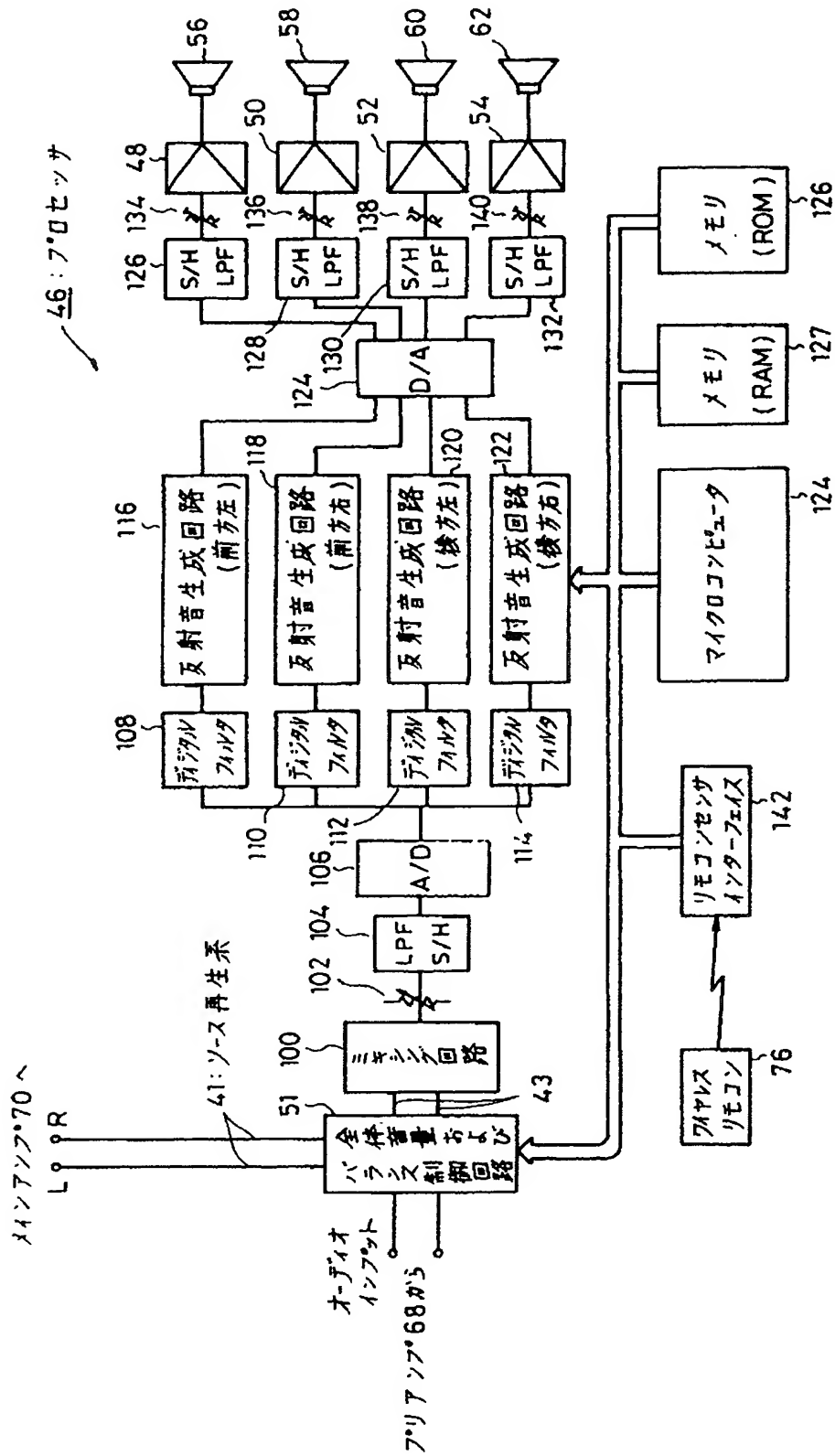
【第 12 図】



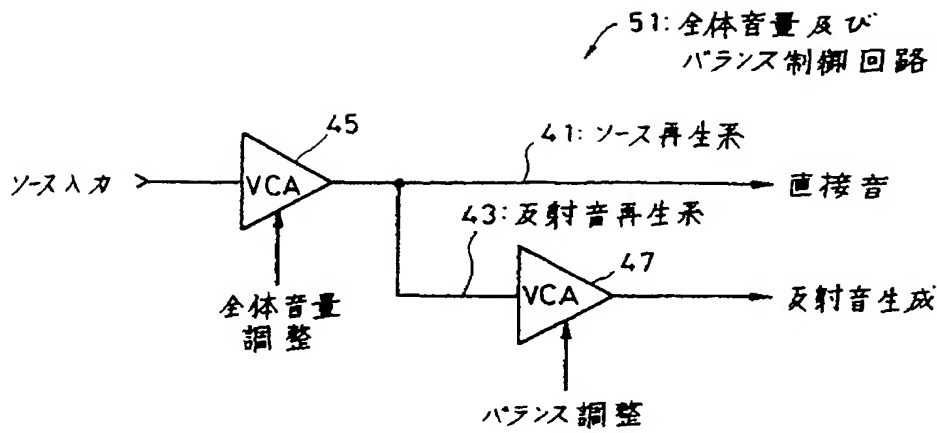
【第 13 図】



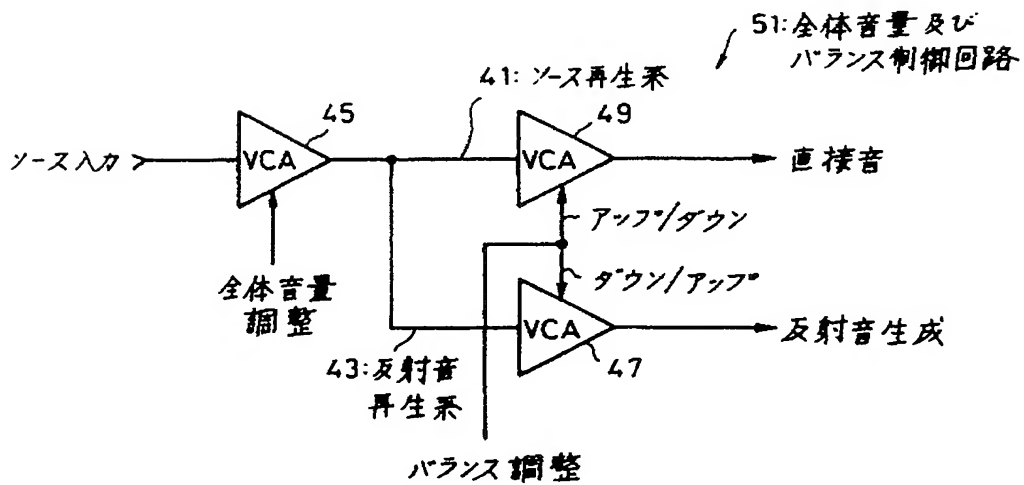
46:70セッサ



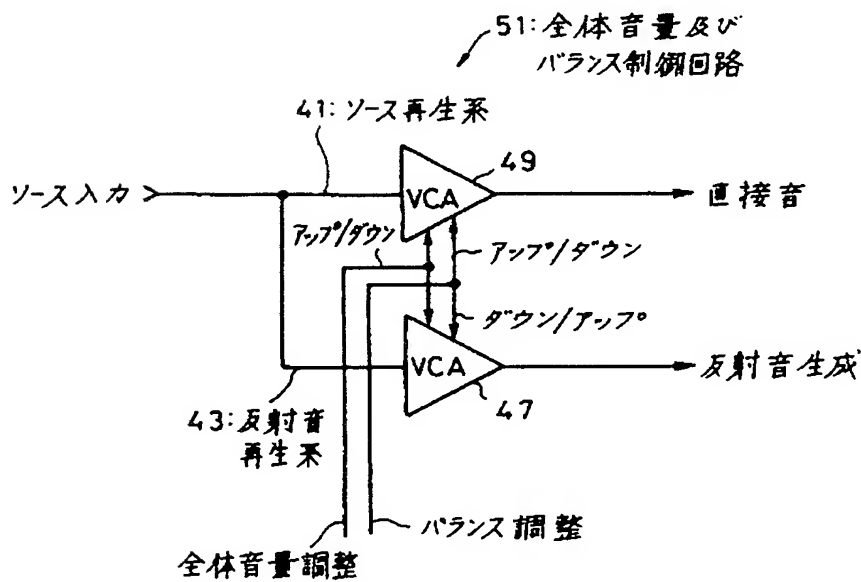
【第20図】



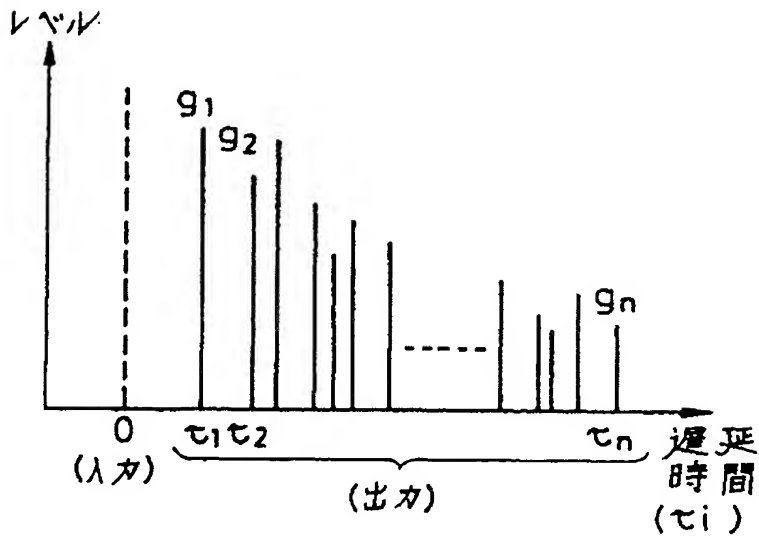
【第21図】



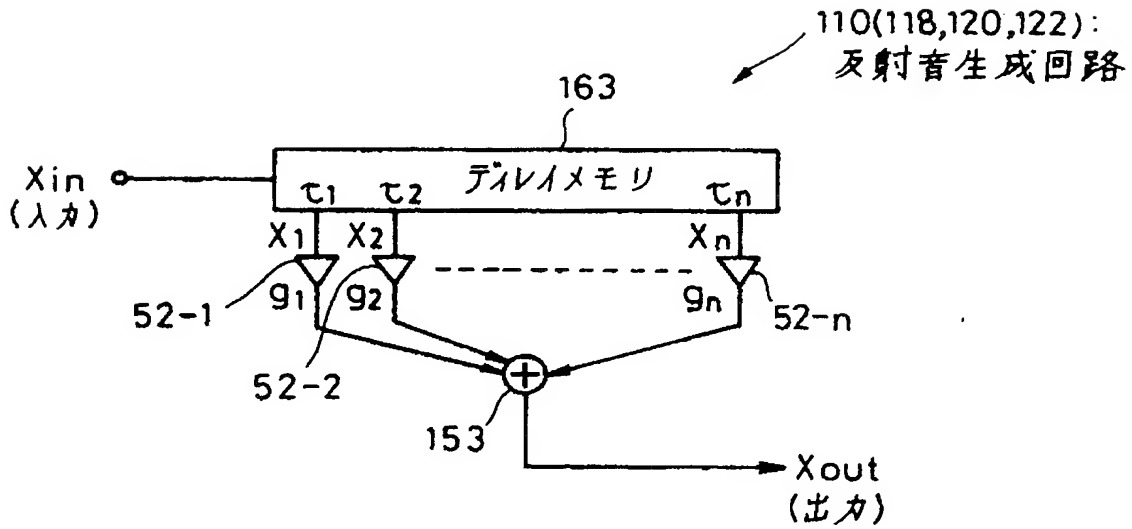
【第22図】



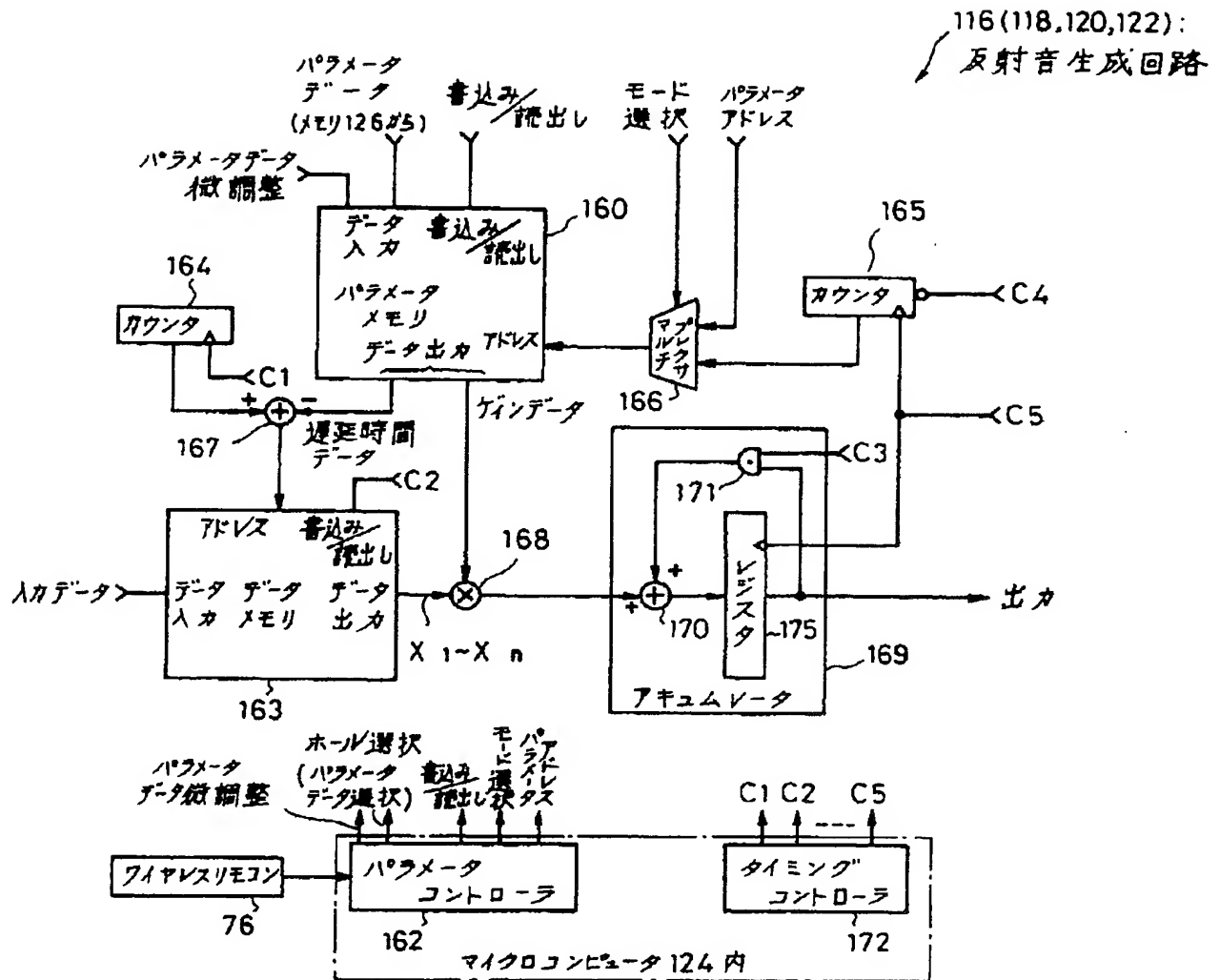
【第 23 図】



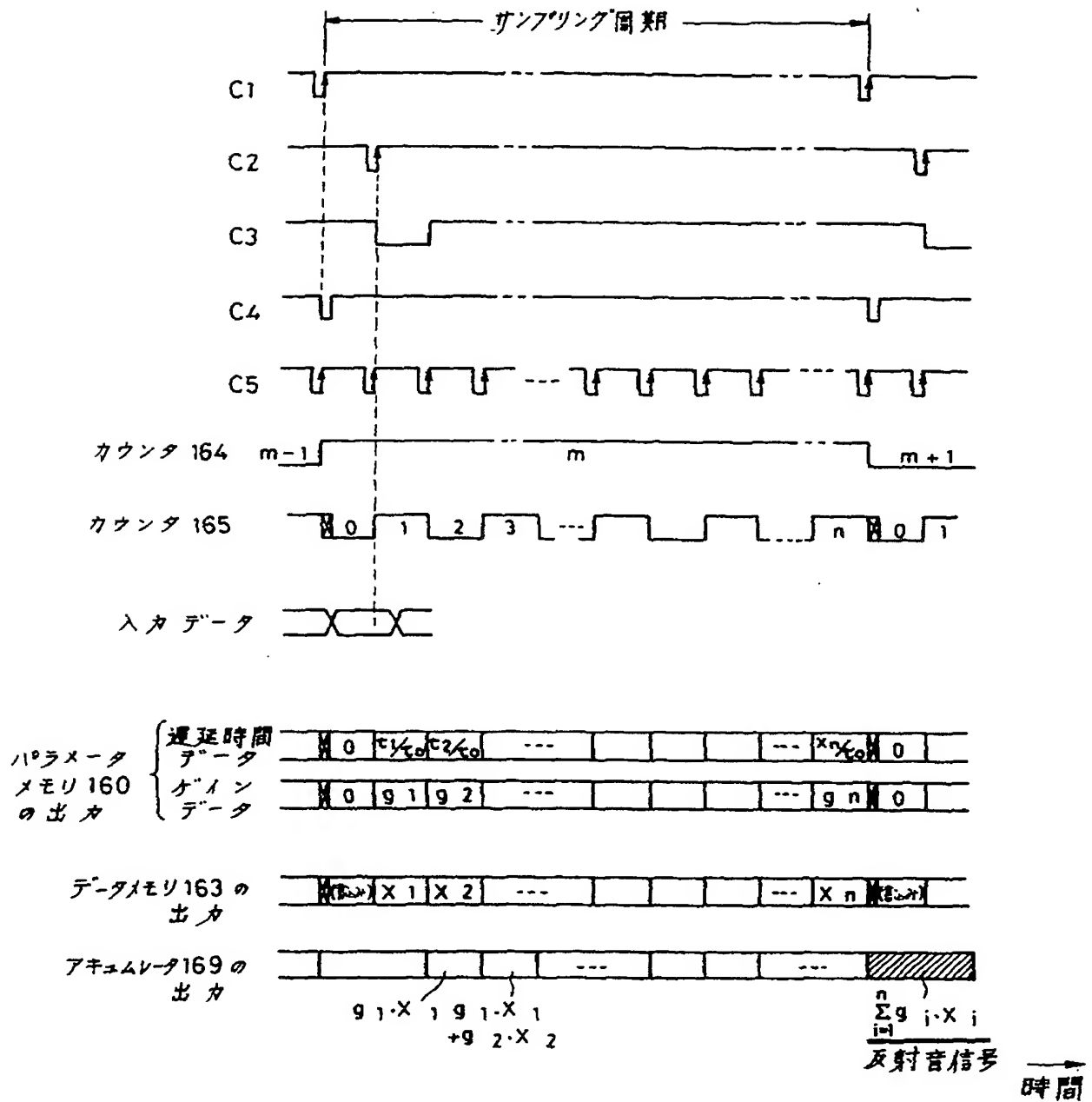
【第 24 図】



【第25図】



【第26図】



【第 27 図】

